

Düzce Üniversitesi Sūs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi



“DÜSTİBİD”

İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Gelişen Su Sıkıntısına Alternatif Bir Çözüm Önerisi: Atmosferik Su Hasadı *

Şansel BİLDİREN^{1*}, Murat SARGINCI¹

¹Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü

***Sorumlu yazar:** sanseliseviyorum@hotmail.com

ÖZET

Yaşamın devamlılığı için gerekli olan su, hızlı nüfus artışı, sanayileşme, arazi kullanım değişikliği, tarımda kullanılan geleneksel sulama yöntemleri ve iklim değişikliğinin etkileri nedeniyle tehdit altındadır. Bu faktörler yağış rejimi ve miktarında farklılıklara, kuraklığın artmasına ve buna bağlı olarak su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Suyun kullanım ve dağıtımının dengelenmesine ve kaynakların yeni stratejilerle sürdürülebilir ve dönüştürülebilir bir şekilde kullanılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Doğadaki canlılardan esinlenerek yapılan su hasadı, bu canlıların özelliklerini ve mekanizmalarını kullanır. Atmosferik su hasadı, son yıllarda popüler hale gelen ve kıt su kaynaklarına erişim için bir çözüm olabilecek biyo-ilham teknolojilerinden biridir. Havadaki neme her yerden erişilebilir, potansiyel bir tatlı su kaynağıdır ve yenilenebilir bir enerji kaynağı (güneş/rüzgâr enerjisi) ile üretilebilir. Bu çalışmada, yaz kuraklığı olan botanik bahçeleri de dahil olmak üzere kurak ve yarı kurak alan veya bölgelerde toprak-su-bitki ilişkileri açısından önemli bir yere sahip olan atmosferik su hasadı, alternatif su yönetimi olabilir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik su hasadı 1, Botanik bahçeleri 2, İklim Değişikliğine uyum 3.

An Alternative Solution Proposal for Water Shortage Due to Climate Change: Atmospheric Water Harvesting

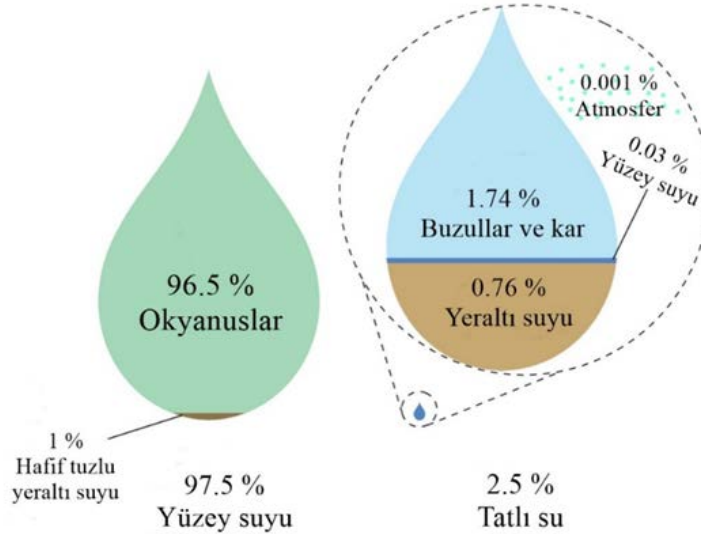
ABSTRACT

Water, necessary for the continuity of life, is threatened due to rapid population growth, industrialization, land use change, traditional irrigation methods used in agriculture, and the effects of climate change. These factors cause differences in precipitation regime and amount, an increase in drought, and consequently a decrease in water resources. It is necessary to pay attention to balancing the use and distribution of water and use the resources in a sustainable and transformable way with new strategies. Water harvesting inspired by living things in nature uses these creatures' features and mechanisms. Atmospheric water harvesting is one of the bio-inspired technology that became popular in recent years and can be a solution to accessing scarce water resources. Moisture in the air is accessible from anywhere, is a potential source of freshwater, and can be generated by a renewable energy source (solar/wind energy). In this study, atmospheric water harvesting, which has an important place in terms of soil-water-plant relations in arid and semi-arid areas or regions, including botanical gardens with summer drought, can be an alternative water management.

Keywords: Atmospheric water harvesting 1, Botanical gardens 2, Climate change adaptation 3.

1. Giriş

Günümüzde yaşanan şiddetli kuraklıklar, nüfus artışı, su talebinin artışı, su yönetimindeki yanlış stratejiler gibi durumlar dünyadaki tatlı su kaynaklarını daha da tehdit etmektedir (Shalamzari ve Zhang, 2018). Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili ve ortalama yüksekliği yaklaşık 1100 m olan ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında kalan Akdeniz iklim bölgesinde bulunmaktadır (Türkeş, 2008) ve buna rağmen, su zengini bir ülke değildir. Türkiye küresel olarak su fakirlik indeksine göre 147 ülke arasından 78. sırada çıkmıştır (Lawrance ve ark., 2002). Türkiye’de yıllık ortalama yağış 643 mm’dir. Tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 112 milyar m³tür ve bunun 57 milyar m³ü kullanılmaktadır. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 1960 yılında 4.000 m³ iken, 2000 yılında 1.652 m³, 2009 yılında 1.544 m³, 2020 yılında ise 1.346 m³ olmuştur. Falkenmark indeksine göre Türkiye şu anda yıllık kişi başına düşen su miktarı ile su azlığı çeken bir ülke konumundadır (DSİ, 2022; Çapar, 2019). Dünyayı ele aldığımızda ise gezegenimizin yüzeyinin %71’i sularla, kalan %29’u ise karalarla kaplıdır. Görünürde oldukça fazla su kaynağı var gibi gözükse de kullanılabilir sular (tatlı sular), tüm su kaynaklarının sadece %2,5’ini oluşturmaktadır (Şekil 1). Bu tatlı suyun yaklaşık %69’u Antarktika ve Grönland’ın buz tabakasında bulunur ve kalan %30’u yeraltında depolanır. Bu nedenle insanların doğrudan kullanabileceği tatlı su (nehir ve tatlı su gölleri gibi), tüm su kaynaklarının sadece %0,4’ünü oluşturmaktadır (Kalmutzki ve ark., 2018).



Şekil 1. Dünyadaki tüm suyun yüzde dağılımı (Shiklomanov, 1993’ten uyarlanmıştır).

Birleşmiş Milletler Dünya Su Gelişim Raporu 2020 (The United Nations WWDR, 2020) verilerine göre küresel su kullanımı son 100 yılda altı kat artmıştır ve artan nüfus, ekonomik kalkınma ve değişen tüketim kalıplarının bir sonucu olarak da yılda yaklaşık %1 oranında istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir. Bu nedenle tatlı su eksikliği çözülmesi gereken en büyük krizlerden biri haline gelmiştir. Günümüzde bu sorunu çözmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Deniz sularının tuzdan arındırılması yeni tatlı su kaynakları geliştirmenin temel yollarından biridir, fakat bu oldukça maliyetlidir (Ghaffour ve ark., 2013). Bunun yanında ilk olarak su kıtlığı çeken alanlar iç kesimlerdir ve bu bölgelerde deniz suyu kaynakları bulunmamaktadır. Bu nedenle kurak alanlarda

kullanılabilecek bir tatlı su teknolojisi geliştirmek önemlidir (Lifeng ve ark., 2022). Her yerden erişilebilen ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ile kolayca birlikte çalıştırılabilen atmosferik su hasadı; bol miktarda tatlı suyun potansiyel bir kaynağıdır (Tu ve ark., 2018). Atmosferik su, devasa bir yenilenebilir su rezervuarı olarak kabul edilmektedir (Wahlgren, 2001). Atmosferin dünyadaki tüm nehirlerin toplam hacminin altı katı olan 12,9 tera ton su içerdiği tahmin edilmektedir (Shiklomanov, 1998). Atmosferik su genellikle üç temel tipte bulunmaktadır: bulutlar, sis ve su buharı. Bulut ve sis, küçük su damlacıklarından oluşmaktadır (tipik olarak 0,5 ila 5 mm arasında değişen yağmur damlacıklarının boyutuna kıyasla 1 ila 40 µm çapında), ancak sisteki su damlacıklarının konsantrasyonu genellikle daha büyüktür (Beysens ve ark., 2000). Gezegenimizin atmosferinde bulunan damlacıklar ve buhar şeklinde bulunan çok fazla miktarda su içeriği, tüm tatlı suyun yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır (Kim ve ark., 2017). Bu nedenle eğer atmosferik su verimli bir şekilde hasat edilebilir ve kullanılabilirse, su kıtlığı büyük ölçüde hafifletilebilir. Dünyadaki brüt su miktarı, su döngüsü ile sabit kalsa da yağışların düştüğü mekân, zaman, yağış şekli, yüzeysel akış ya da yeraltı su kaynaklarının beslenme oranları değiştiğinde dünyamızı oldukça ciddi problemler beklemektedir. Buna iklim değişikliği de eklenince uyum kapsamında; kayıp ve kaçakların azaltılması, yağmur suyu ve arıtılmış su gibi alternatif su kaynaklarının kullanımı, su ekonomisine katkı sağlayacak teknolojilerin kullanımı gibi uygulamalara geçilmesi önerilmektedir (Çapar, 2019). Geleneksel su yönetimi yaklaşımına alternatif olmayı amaçlayan uygulamalardan bir tanesi de atmosferik su hasadıdır (Tu ve ark., 2018). Atmosferdeki suyun atmosferik su jeneratörü yardımıyla hasadı sağlanabilmektedir. Atmosferik su jeneratörü suyu havadaki nemden çeken nem alma-yoğuşma teknolojisini kullanan bir cihazdır. Atmosferden elde edilen su daha sonra filtrelenmekte karbon, ters osmoz ve UV sterilizasyon ışınları dahil olmak üzere çeşitli filtrelerden geçirilerek arındırılarak tatlı su elde edilmektedir. Bu elde edilen su aynı zamanda içme suyu olarak da kullanılabilmektedir (Tripathi ve ark., 2016). Bu makalede atmosferik su hasadına, atmosferik su hasadı teknolojilerinin çalışma prensibine ve yapılan çalışmalarla ilgili bilgiler yer almaktadır. Yaz kuraklığı çeken alanlarda ve iklim değişikliğinin etkilerinin şiddetlenmesiyle su kaynaklarının yönetiminde zayıflamalar olabilecek bölgelerde, aynı zamanda kırsal ve kentsel alanlarda (buna botanik bahçeleri ve arboretumlarda dahil) muhtemel su sıkıntıları beklenmektedir. Bu derlemenin amacı su sıkıntısı çekebilecek bölgelerde atmosferik su hasadının alternatif bir su kaynağı potansiyeli olduğunu vurgulamaktır.

2. Atmosferik Su Hasadı

2.1. Atmosferik Su Hasadının Tarihsel Gelişimi

Atmosferdeki sudan yararlanma düşüncesi yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Bazı anlatılar ve hatta efsaneler, esasen büyük taşlar ve ağaçlar kullanılarak yapay olarak hasadı sağlanan “çiy yayları” ve “çiy havuzları” ile ilgilidir. Bu bilgiler insanlığın çok eski zamanlardan beri atmosferik suyu alternatif bir tatlı su kaynağı olarak gördüğünü açıklamaktadır (Beysens ve ark., 2000). Atmosferik su hasadı cihazlarının tarihi Ukrayna’da Kırım yarımadasının şehri Feodosia’da başlamıştır. Theodosia’yı (şimdiki Feodosia’nın Yunanca ismi) MÖ 6. yüzyılda kuran ilk Yunanlıların su ihtiyaçlarını karşılamak için çiy

kondansatörleri kullandıkları tahmin edilmektedir. (Hitier, 1925; Jumikis, 1965; Gioda ve Acosta Baladon, 1991). Bu görüşü ilk olarak, 1905 ve 1912 yıllarında kâse şeklinde deneysel bir taş yoğunlaştırıcı yapan Rus ormancı Zibold ortaya atmıştır (Nikolayev ve ark., 1996). Bunun yanında, bazı araştırmacılar Zibold'un deneysel sonuçlarına itiraz etmiştir. Bu nedenle, Yunanlıların yaptığını iddia ettiği ilk çiy yoğunlaştırıcısı, bilimsel bir hikâye olmaktan çok hala bir efsane olmaya devam etmektedir (Zibold, 1905; Hitier 1925; Beysens ve ark., 2000). Daha sonra Zibold'un bu girişimleri birçok bilimsel araştırmacıya ilham kaynağı olmuştur. Atmosferik su hasadına yönelik tesisler kurulmuş ve başarıyla yoğunlaştırılmış su üretilmiş olsa da miktarı beklenenden az olmuştur. Bu çalışmalar için umutlar boşa çıktıktan sonra, Monteith tarafından 1957'de yayımlanan yayın, odağı gözlem ve çiy ölçüm girişimlerinden, çiy oluşumu ve çiy buharlaşmasının enerji ve ısı dengesi mekanizmalarını anlamaya kaydırmıştır (Monteith, 1957). O zamandan beri, modern atmosferik su hasadı teknolojileri üzerine araştırmalar devam etmiştir (Gindel, 1965) ve çoğunlukla kurak ve yarı kurak alanlarda uygulanan bir dizi atmosferik su hasadı yöntemi üzerinde çalışılmıştır (Klemm ve ark., 2012; Khalil ve ark., 2016).

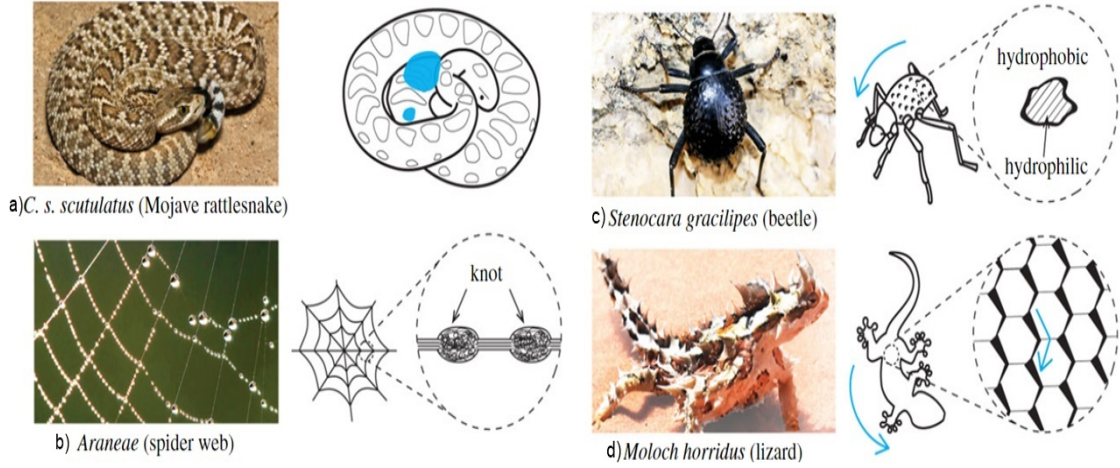
2.2. Atmosferik Su Hasadı Yapabilen Bazı Canlılar

Atmosferik su hasadı teknolojileri ya da mekanizmaları biyomimetik yaklaşımdan yararlanmıştır. Biyomimetik teriminin ana teması ise “doğanın en iyi fikirlerinden öğrenerek tasarlama” anlamına gelmektedir (Zari 2009; Mutlu Avinç ve Arslan Selçuk, 2019), aynı zamanda teknolojik soruların anlaşılmasına olanak tanımak için doğal ilkelerin irdelenmesini belirtmektedir (Pohl ve Nachtigall, 2015). Doğada yaşamını sürdüren birçok canlı buldukları yere adaptasyon sağlamış ve morfolojik yönden farklı stratejiler geliştirerek suyu sürdürülebilir şekilde temin edip kullanmayı ve depolamayı sağlamıştır. Bu canlılardan bir tanesi Namib Çöl Böceği (*Stenocara gracilipes*)'dir. Böceğin kitin tabakasında hidrofilik yapıda küçük tepecikler ve mumsu yapıya sahip hidrofobik oluklar bulunmaktadır (Şekil 2). Bu canlı sis rüzgarları olduğunda vücudunu 45°'lik bir açıda sabitlemekte ve siste bulunan su taneciklerini sırt kabuğuna çarptırarak onları hidrofilik tepecikleri sayesinde tutmaktadır. Tepeciklerde çoğalan su tanecikleri belli bir ağırlığa eriştiğinde oluklara doğru akmaktadır. Hidrofobik oluklarda artık tutunamayan su damlaları canlının 45° açılı duruşu ve yerçekiminin de etkisiyle oluklardan aşağı kayarak böceğin ağzına ulaşmaktadır (Guadarrama-Cetina ve ark., 2014).



Şekil 2. Namib Çöl Böceği (Web-1).

Namib çöl böceği gibi kurak bölgelere uyum sağlamış bazı bitki ve hayvanlar Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi sisten ya da su buharının yoğunlaşmasından su hasadı gerçekleştiren yüzey yapıları geliştirmiştir (Brown ve Bhushan, 2016; Bhushan, 2018; Bhushan, 2020). Dış kısımdaki yapılar, sis ve yoğunlaşmadan kaynaklanan damlacıkların biriktiği ve büyüdüğü bir alana sahiptir. Bu mekanizmalardaki kilit nokta; hasat edilen suyun buharlaşmadan depolandığı ya da tüketilmesi gereken yere taşınması gerektiğidir. Örneğin bazı bitkilerde toplanan su, depolama için köklere ve gövdeye taşınırken, çöl böcekleri ve kertenkelelerde toplanan su tüketim için ağza taşınır.

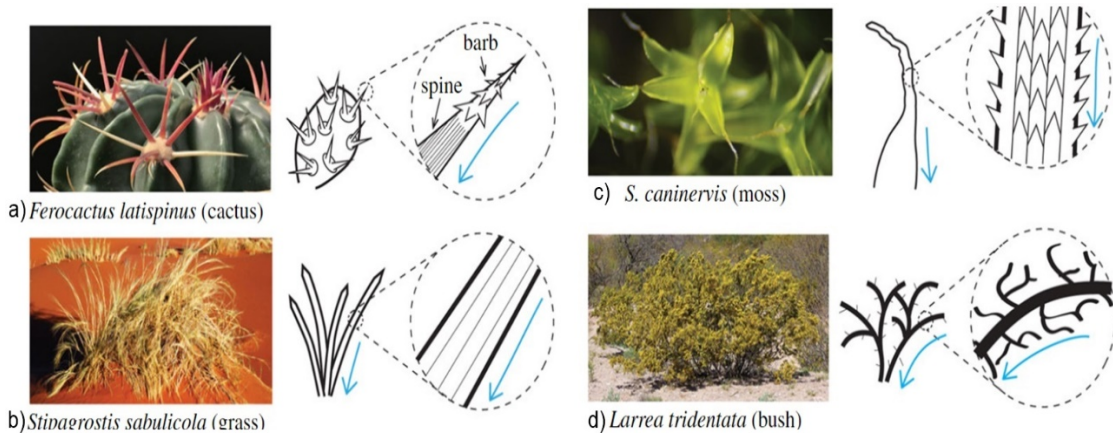


Şekil 3. Su hasadı için mekanizmalarından ilham alınan çöl hayvanları (Bhushan, 2020'dan uyarlanmıştır).

Stenocara gracilipes ve *Onymacris unguicularis*, sisten su toplanması sonucu hayatta kalırlar. Namib çölünde sis hasadı ile ilgili ilk gözlem Hamilton ve Seely (1976) tarafından, böceklerin gece sisleri sırasında ortaya çıkması ve rüzgâra doğru yönelirken başlarını eğmeleri ile yapılmıştır (Şekil 3c). *Moloch horridus*, batı ve güney Avustralya'daki kurak bölgelere özgü bir kertenkele türüdür. Bentley ve Blumer (1962) su damlacıklarının ağza ulaşmadan önce deriye yayıldığını bildirmiştir. Derideki açık kanallar boyunca kılcal hareket nedeniyle su hareketi oluşmaktadır (Şekil 3d). Birçok sürüngen, sis suyu hasadı yapmaktadır. Örneğin, çöl yılanları yağmur yağarken yuvalarından çıkar ve açıkta kıvrılır. Sarılarak, vücut halkalarını birbirleriyle yakın temas haline getirirler ve su, Şekil 3a'da (Cardwell, 2006; Gorb ve Gorb, 2017) gösterildiği gibi, halkalar arasında oluşan sıklıklarda tutulur. Bir başka su hasadı için mekanizmasından ilham alınan canlı ise örümceklerdir. Şekil 3b'de gösterildiği gibi çiy parıldayan bir örümcek ağı fotoğraflanarak kanıtlandığı gibi, örümcek ağlarının su topladığı bilinmektedir. İpeksi ağda bulunan proteinlerin higroskopik doğası, su damlacıklarının yoğunlaşması ve silindirik ipek ipliğin şişmesi ile sonuçlanır. Bu silindir daha sonra Rayleigh kararsızlığı* nedeniyle parçalanır, burada bir sıvı silindiri yüzey alanını azaltmak için daha küçük damlalara bölünür ve bunun sonucunda, yüzey boyunca periyodik olarak aralıklı bir dizi düğüm içeren bir "ip üzerinde boncuk" yapısı oluşur (Brown ve Bhushan, 2016; Edmonds ve Vollrath, 1992).

*az yoğun bir akışkan üzerinde daha yoğun bir akışkan olduğunda ve yoğun akışkandan az yoğun akışkan yönüne doğru bir yerçekimi kuvveti olduğunda ortaya çıkar.

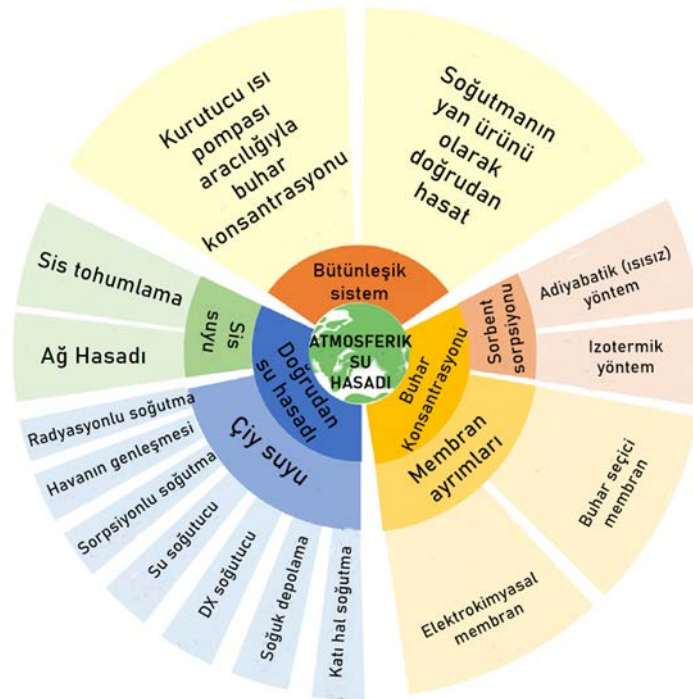
Namib çöl böceği, Moloch kertenkelesi, bazı örümcekler ve yılanlar gibi koşulların oldukça sert olduğu sıcak ve kurak olan Sahra, Namibya ve Atacama çöllerinde bile birçok bitki ve hayvan hayatta kalabilmektedir. Çöl bitkileri ve hayvanları özel adaptasyonlara sahiptir. Çöl bitkilerinde ve hayvanlarında bulunan, benzersiz yapılar ve morfolojiler ortamdaki suyun hasadında onlara yardımcı olmaktadır. Bazı bitkiler yeraltındaki su kaynaklarına erişebilmek için derinlere ulaşan köklerini büyütürken hayatta kalabilmektedir, aynı zamanda su kaybını en aza indiren diken şeklindeki yapraklara sahiptir. Kaktüs gibi sukulent yapıdaki bitkiler su depolamalarına yardımcı olan kalın, etli gövdelere sahiptir (Mooney ve ark., 1977). *Ferocactus latispinus* türleri üzerinde mikroskobik konik dikenlere sahip dikenlerin bir şemasını göstermektedir (Şekil 4a). Su damlacıkları konik kısımların üzerinde toplanır ve Laplace basınç gradyanını sağlayan eğrilik gradyanı nedeniyle tabana doğru hareket eder. Damlacıklar ayrıca küçük dikenlerin uçlarında birikebilir ve kritik boyuta ulaştıklarında konik kısımlara doğru hareket ederler. Konik kısımların tabanında bir kez, bitki suyu absorbe eder. Laplace basınç gradyanı, su damlacıklarının yerçekimine meydan okuyabileceği ve yukarı tırmanabileceği kadar büyüktür. Sisten su hasadı için uyarlanmış diğer bitki türleri arasında Namib çölüne özgü bir ot olan *Stipaerostis sabulicola* bulunur (Brown ve Bhushan, 2016). Su damlacıkları birleşmeden önce yaprak üzerinde toplanır ve bitkinin tabanına doğru iner (Louw ve Seely, 1980; Root-Nebelsick ve ark., 2012). Yapraklar, Şekil 4b'de gösterilen bu sıvı akışını belirleyen uzunlamasına sırtlara sahiptir. Çöl yosunu aşırı kurak bölgelerde hayatta kalabilir. *Syntrichia caninervis*, çölde yaygın olarak bulunan çöl yosunlarıdır. Bu bitki eşsizdir, çünkü fotosentezin gerçekleşmesi için yaprak yüzeylerinin ıslak olması gerekir ve kök benzeri yapıları topraktan su toplamaz. *S. caninervis*'in her bir yaprağının ucunda, kılçık veya trikoma olarak adlandırılan 0,5-2 mm uzunluğunda saç benzeri yapılar bulunur ve bunlar sis, çiy ve yağmurdan su toplamak için kullanılır (Şekil 4c) (Koch ve ark., 2008; Pan ve ark., 2016). *Larrea tridentata* çalısı kurak bölgelerde hayatta kalabilir ve sisten su topladığı bilinmektedir. Bitkinin yapraklarındaki ince tüyler, çok ağır hale geldiklerinde bitki yapısına düşmeden önce birleştikleri ve büyüdükleri sis damlacıklarını kesmekte ve sonunda Şekil 4d'de gösterildiği gibi köklere ulaştırmaktadır. Atmosferik su hasadı teknolojileri bu örneklerdeki gibi biyomimetik yaklaşımlardan yararlanmışlardır.



Şekil 4. Su hasadı için mekanizmalarından ilham alınan çöl bitkileri (Bhushan, 2020'dan uyarlanmıştır).

2.3. Atmosferik Su Hasadı Teknolojileri

Su, sürekli olarak dünya yüzeyinin altında ve üstünde döngü halindedir. Su kütleleri, bulutlar, buharlaşma ve yoğuşma su döngüsünün bir parçasıdır. Atmosferik su genellikle üç temel tipte bulunmaktadır: bulutlar, sis ve su buharı. Bulut ve sis, küçük su damlacıklarından oluşmaktadır (tipik olarak 0,5 - 5 mm arasında değişen yağmur damlacıklarının boyutuna kıyasla 1 -40 µm çapında), ancak sisteki su damlacıklarının konsantrasyonu genellikle daha büyüktür (Beysens ve Milimouk, 2000). Havadaki su formlarına göre, atmosferik su hasadı teknolojileri; suni yağmur hasadı, (Bruintjes, 1999; DeFelice ve Axisa, 2017), sis suyu hasadı (Klemm ve ark., 2012; Fessehaye ve ark., 2014) ve çiy suyu hasadı (Dai ve ark., 2018) olarak üç farklı kategoriye ayrılabilir. Hava değişikliği ("bulut tohumlama" veya "yapay yağmur" olarak da bilinir) yalnızca troposferde bol su bulutlarının toplandığı durumlarda önemli miktarda yağış üretebilir (Bruintjes, 1999; DeFelice ve Axisa, 2017). Sis suyu hasadı, hava değişiminden farklı olarak, belirli kurak bölgelerde önemli miktarda içme suyu temini için kanıtlanmış bir teknolojidir (Klemm ve ark., 2012). Nem hasadı, nemli havanın soğutulmuş bir yüzey üzerinden geçirilmesi ile elde edilebilir ve yüzey sıcaklığı havanın çiylenme noktası sıcaklığından düşükse yoğunlaştırılmış sıvı su elde edilir (Khalil ve ark., 2016). Çeşitli atmosferik su hasadı teknolojilerinin teknik olarak sınıflandırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.

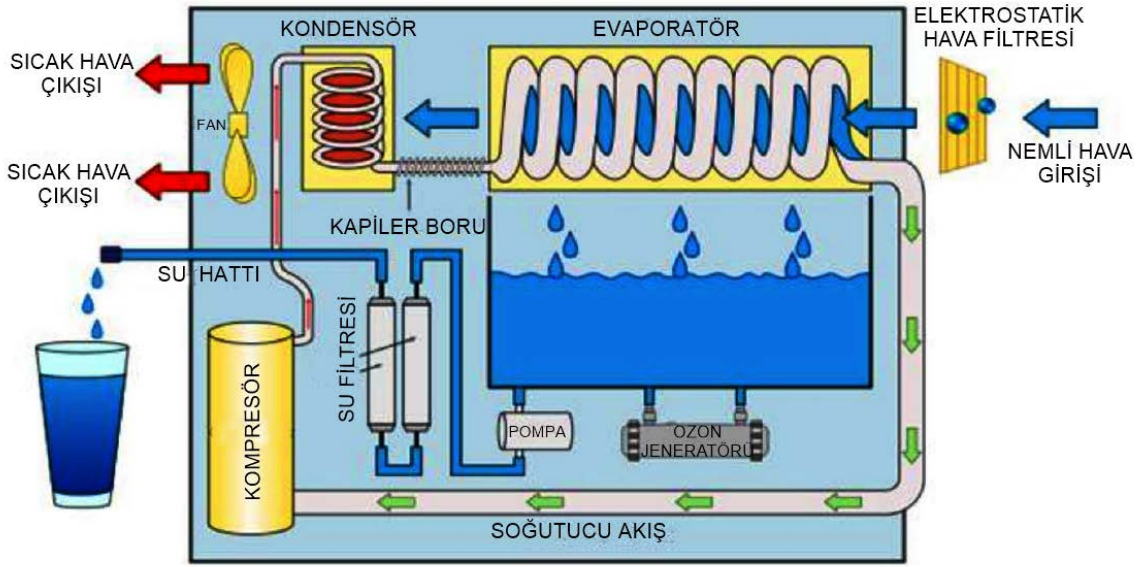


Şekil 5. Atmosferik Su Hasadı Yöntemlerinin Teknik Olarak Sınıflandırılması (Tu ve ark., 2018'den düzenlenerek alınmıştır).

2.4. Atmosferik Su Jeneratörü Çalışma Prensibi

Atmosferik su jeneratörleri genel olarak buzdolabı ve klimalarla aynı olan buharlaşma-soğutma prensibiyle çalışmaktadır. Bir atmosferik su jeneratörü havayı; bir kompresör soğutucu akışkanı bir kondansatör ve ardından onu çevreleyen ve havayı soğutan bir

evaporatör bobini içinde dolaştırmaktadır. Bu hava sıcaklığını çiy noktasına kadar düşürerek su buharının yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Daha sonra kontrollü hızlı bir fan, havayı bobinin üzerine itmektedir. Elde edilen su daha sonra suyun saf kalmasına yardımcı olmak ve yoğuşma suyu tarafından evaporatör rezistansındaki ortam havasından toplanabilecek virüs ve bakterilerin oluşturduğu riski azaltmak için de arıtma ve filtreleme sistemli bir bekletme tankına geçirilmektedir (Şekil 6). Suyun üretilme hızı bağıl neme, ortam havası sıcaklığına ve kompresörün boyutuna bağlıdır. Atmosferik su jeneratörleri bağıl nem ve hava sıcaklığı arttıkça daha verimli hale gelmektedir. Genel bir kural olarak, sıcaklık 18,3 °C altına düştüğünde veya bağıl nem %30'un altına düştüğünde soğutma-yoğuşmalı atmosferik su jeneratörleri verimli çalışmamaktadır. Bir atmosferik su jeneratörünün maliyeti cihazın kapasitesine, yerel nem ve sıcaklık koşullarına ve üniteye güç verme maliyetine bağlıdır (Tripathi ve ark., 2016).



Şekil 6. Atmosferik Su Hasadı Jeneratörünün Genel çalışma prensibi (Tripathi ve ark., 2016'den çevrilerek uyarlanmıştır).

2.5. Atmosferik Su Hasadı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Doğa kurak koşullarda hayatta kalmak için farklı yöntemler benimsemiştir. Bitkilerin havadaki nemi absorbe ettiğini ortaya koyan ilk çalışmalardan biri 1727'de Hales tarafından yapılmıştır. Stone tarafından 1957'de bitkilerde çiy ve suyun emilimi üzerine yoğunlaşan bir literatür taraması yapılmıştır (Stone, 1957). Malik ve ark. (2014), (*Opuntia microdasys*, *Stipagrostis sabulicola* ve *Trianthema hereroensis*) böcekler, kurbağalar, kertenkeleler ve örümceklerle ilgili literatür taraması yapılmıştır. Atmosferik su hasadı ile ilgili fikirleri 1987 yılından bu yana, ancak daha büyük ölçeklerdeki deneyler Batı Afrika (Namibya), Güney Amerika (Şili ve Peru) (Schemenauer ve Cereceda 1992a) ve Orta Doğu (Suudi Arabistan ve Umman, muson mevsimi) kıyı çöllerinde (Schemenauer ve Cereceda, 1992b) ve dünyanın birçok kurak bölgesinde (Schemenauer ve Cereceda, 1991) yapılmıştır. Başarılı sonuçlar, günümüzde dünyanın birçok yerinde başlatılan ve uygulanan benzer sis hasadı projelerine ilham kaynağı olmuştur (Batisha, 2015). Bu çalışmada %40 sis daldırma

süresi ve 3 m/s rüzgâr hızı ile %50 su hasadı randımanı olan tipik koşullarda 0,1–0,5 gram/m³ civarında sıvı su içeriği elde edilmiştir (Wahlgren, 2001; Montecinos ve ark., 2018). Yüksek irtifa sisi kullanan gelişmiş sistemlerin çoğu ise günde 3–7 kg/m² su üretme kabiliyetine sahiptir (Klemm ve ark., 2012). Abdul-Wahab ve ark. (2007), Hint musonlarının neden olduğu sis yaşanan Umman Sultanlığı'nın Dhofar Bölgesi'ndeki bazı dağlık alanlardaki evlerin yakınlarına konut tipi sis hasadı teknolojileri inşa etmişler ve onların potansiyelini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda 77 gün boyunca toplanan toplam sis suyu hasadının 995, 880 ve 753 litre/m² olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, tüm sis hasadı teknolojilerinin sis suyu toplamada çok etkili olduğunu kanıtlamıştır (Abdul-Wahab ve ark., 2007). Bir başka çalışmada Schemenauer ve Cereceda (2003) uygulanabilir ve verimli bir sis çıkarma projesinin aşağıdaki kriterleri karşılaması gerektiğini belirtilmiştir: i) sis yıl boyunca sık sık meydana gelmeli ve nispeten uzun bir süre devam etmelidir; ii) nispeten yoğun su buharı içeriğine sahip yüksek rakımlı sisler, kurak topraklardaki sisli suyu hasadı projeleri için birincil ilgi konusudur; iii) daha yüksek bir verimlilik elde etmek için sis toplamaya rüzgâr eşlik etmelidir. Alternatif yaklaşımlar arasında, çiğ su toplama sisli su toplama ile karşılaştırıldığında iklimsel ve coğrafi kısıtlamalardan minimum düzeyde etkilendiği için ideal aday olarak yaygın şekilde kabul edilmiştir (Sharan 2008; Muñoz-García 2013, Kotzen 2014; Khalil ve ark., 2016; Sharan ve ark., 2017). Nem tutma performansı esas olarak ortam bağıl nemine bağlıdır. Genel olarak, kurak bölgelerde bağıl nem genellikle %30'dan azdır. Ortam bağıl nemi %80'den büyük olduğunda, sis özellikle güneşli bir sabahta nispeten daha kolay oluşmaktadır (Tu ve ark., 2018).

Aktif kondansatörler artık su kalitesi ve / veya miktar sorunları olan bölgelerde yerel olarak yönetilen su tedarik sistemleri için yenilikçi bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Verimleri taşınabilir cihazlarla günde 20 litreye ve daha büyük tarımsal su cihazlarıyla 200.000 litre/ gün'e ulaşabilen çeşitli aktif kondansatör tasarımları patentlenmiştir (Nebbia 1961; Khalil 2016). Enerji tüketimi esas olarak sistem tasarımına bağlı olmaktadır. Bugüne kadar, ticari olarak temin edilebilen atmosferik su hasadı teknolojilerinin çoğu, su üretmek için geleneksel klima teknolojilerini kullanmaktadır ve test edilen verimlilik oranları 650–850 wattaat(elektrik)/ kg aralığında ve aralarında en iyi verimlilik yaklaşık 250 wattaat (elektrik)/kg olarak tespit edilmiştir (Bui ve ark., 2017).

Kim ve ark. (2018) kurak iklimler için adsorpsiyon bazlı atmosferik su hasadı cihazı ile ilgili yaptığı bir çalışmada sorbentleri kullanan atmosferik su jeneratörlerinin, düşük bağıl nem koşullarında su buharını yakalayabildikleri ve bol miktarda güneş-termal enerji kaynağı tarafından daha yüksek verimlilikle çalıştırılabildiğini ifade etmiştir. Oldukça kurak bir iklime sahip (Tempe, Arizona, ABD) ve bağıl nemin %10-40 arasında olduğu bir bölgede yaklaşık %14'lük bir termal verimlilikle (güneş enerjisi girdisinden suya dönüşüm) çalışan metal-organik çerçeve (MOF)-801 [Zr₆O₄(OH)₄(fumarat)₆] kullanan hava soğutmalı sorbent bazlı atmosferik su toplama cihazının tek bir günlük döngü için her kg metal organik çerçeve başına 0,25 litre'den fazla su hasat ettiği belirtilmektedir.

Birçok atmosferik su hasadı teknolojisinden, sis suyu hasadı (Ju ve ark., 2012), su buharının çiyleştirilmesi (Gido ve ark., 2016) ve sorpsiyon bazlı atmosferik su hasadı (Xu ve ark., 2020) dahil olmak üzere üçü en çok bilinen ve tanınanlardır (Tu ve ark., 2018). Sorpsiyon ve ışımsal soğutmaya dayalı atmosferik su hasadı teknolojilerinin, merkezi tatlı su kaynağı olmayan kurak bölgeler için çözüm olabileceği düşünülmektedir. Atmosferik su

hasadı, metal-organik çerçeveler, hidrojel ve tuz gömülü sorbentler gibi gözenekli higroskopik malzemelerin yanı sıra gündüz ışınımlı atmosferik soğutma malzemelerinin avantajlarından yararlanmaktadır. Biyomimetik stratejiye dayalı sis hasadı, ağırlıklı olarak bağıl nemin %65'in üzerinde olduğu oldukça nemli ortamlarda çalışan umut verici bir teknolojidir (Yu ve ark., 2022).

Mendoza-Escamilla ve ark. (2019), madencilik faaliyetinden sonra kirlenen yarı kurak bir bölgede tatlı su hasadı için atmosferik su jeneratörü kullanımına ilişkin bir fizibilite çalışması yapmışlardır. Çalışma yıllık ortalama bağıl nemin yaklaşık %60 olduğu Meksika, San Luis Potosi, Matehuala bölgesinde yürütülmüş , olan atmosferik su jeneratörlerini kullanmak için gerekli çevresel koşullara sahip olduğu bulunmuştur. En düşük hasadın olduğu ay 0,89 - 3,6 litre/gün ile ocak ayı olurken, en yüksek hasadın olduğu ay ise sırasıyla 3,9 - 18 litre/gün ve su üretim maliyetleri sırasıyla 0,0093 ve 0,038 Amerikan doları/litre ile ağustos ayı olmuştur. Çalışma, atmosferik su jeneratörlerinin kullanımının su kıtlığını hafifletmeye yardımcı olacağı sonucunu çıkartmaktadır.

Wang ve ark. (2019), tatlı su hasadı için yaptıkları bir çalışmada kullanımı yaygın olmayan arayüzey solar ısıtma destekli sıvı sorbentli atmosferik su jeneratörü kullanmıştır. Bu çalışma ile günde 2,89 kg m⁻² ve yaklaşık %70 bağıl nemde sadece güneş enerjisi girişi ve %66,9'a kadar yüksek desorpsiyon enerji verimliliği ile atmosferik tatlı su elde edilebileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda düşük maliyetli ve etkili bu yaklaşımla, suyu atmosferden hasat etmek, kurak, karayla çevrili ve tatlı suyun kıt olduğu diğer alanların susuzluğunu gidermek için etkili bir yol olduğu belirtilmiştir. Li ve ark. (2018), atmosferik tatlı su hasadını hedefleyen bir çalışmada atmosferik su jeneratörü için yüksek su buharı emme kapasiteli hibrit bir hidrojel kullanılmıştır. Bu sayede yani nem çekerek sıvılaştıran tuz ve hidrojel sayesinde düşük nemli havada bile etkili bir su hasadı kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. 35 gram kuru hidrojel içeren "evde montajı kolay" bir prototip cihaz, açık havada saha koşullarında test edilmiştir ve doğal güneş ışığı altında 2,5 saat içinde 20 gram tatlı su hasadı sağlamıştır. Bu tip atmosferik su üreticinin ucuz ve ekonomik, geniş bir nem aralığında mükemmel çalışan, elektriğe ihtiyaç duymayan ve bu nedenle özellikle uzak bölgelerde temiz su üretimi için uygun olduğu ifade edilmiştir (Li ve ark., 2018).

Pokorny ve ark. (2022) yaptıkları bir çalışmada çöl iklimi koşullarında insanlara içme suyu sağlamanın alternatif bir yolunu sunmak için, mobil otonom atmosferik su jeneratörünün bir prototipi tasarlanmış ve deneysel olarak araştırmıştır. Çöl iklim koşullarında atmosferik buhardan verimli su ekstraksiyonu sağlamak için, bir hava akımından diğerine su buharı kütle aktarımı sağlamak için bir kurutucu çark kullanılmıştır. Geliştirilen prototip, 0,23 kilogram/saat ila 1,45 kilogram/saat su toplama hızı ve 1,00 kilowatt saat/kg ila 4,65 kilowatt saat/kg birim performans katsayısı ile kurak yerlerde suyu etkin bir şekilde hasadının sağlanabileceği tespit edilmiştir. Ardından, Riyad (Suudi Arabistan) ve Tamanrasset (Cezayir) çöl iklim koşulları için farklı kontrol stratejileri ile tam bir yıl simülasyon analizi yapılmıştır. Simülasyonun sonuçları, tam otonom modda, Riyad ve Tamanrasset iklim koşulları için sırasıyla yıllık ortalama 7,9 kilogram/gün ve 8,1 kilogram/gün su üretim oranlarına ulaşıldığını göstermiştir (Pokorny ve ark., 2022).

Kabeel ve ark. (2014), bir çalışmada Basra Körfezi ülkeleri veya benzerleri için atmosferik su hasadını güneş bazlı termoelektrik jeneratör kullanarak tasarlamıştır.

Tasarlanan sistem için akış banyosu üzerindeki basınç düşüşü, hedef parametre olarak metrekare başına su verimliliği ve ortam sıcaklığı ile nemin etkisi olmak üzere dört parametre incelenmiştir. Üç farklı iklim bölgesinde Kızıldeniz, Basra Körfezi ve Güney Avrupa'dır (Güney İspanya), sadece yaz iklim koşulları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Hava fanı için gerekli pompalama gücünün 9,1 watt'ı geçmediği tespit edilmiştir ve ünitenin tatlı su verimliliği 3,9 litre/saat'e kadar çıkmıştır (Kabeel ve ark., 2014).

3. Sonuç

Atmosferik su hasadı teknolojilerinin su kıtlığı sorununu çözmesi, geleneksel bir kaynakla çalıştırılması yerine yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre bir şekilde düzenli çalıştırılabilmesi, taşınabilir ve her yerde kullanılabilir olması, elektrik tüketimi açısından tasarruf sağlaması gibi avantajları bakımından uygun bir seçenek olduğu yapılan çalışmaların sonuçları doğrultusunda söylenebilir. Bu gösteriyor ki kurak ve yarı kurak alanlarda ya da yaz kuraklığı çeken bölgelerde havadaki sudan etkin bir şekilde yararlanmayı mümkün kılan atmosferik su hasadı teknolojileri bu alanlardaki bitkilerin su ihtiyacı için, özellikle arboretum veya botanik bahçelerindeki yaz kuraklığında oluşabilecek su kıtlığına yeni bir çözüm ve su yönetimine de ek alternatif bir kaynak olabilir.

4. Kaynaklar

- Abdul-Wahab, S.A., Hilal, A.H., Al-Najar, K.A., & Al-Kalbani, M.S. (2007). Feasibility of fog water collection: a case study from Oman. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua*, 56, 275-280.
- Anonim, (2018). <https://watercalculator.org/water-use/climate-change-water-resource> . Erişim Tarihi: 14.04.2022.
- Anonim, (2018). The Effects of Climate Change. <https://climate.nasa.gov/effects/>. Erişim Tarihi: 14.04.2022.
- Batisha, A.F. (2015). Feasibility and sustainability of fog harvesting Sustain. *Water Qual. Ecol.*, 6, 1-10.
- Bentley, P.J. & Blumer, W.F.C. (1962). Uptake of water by the lizard, *Moloch horridus*. *Nature*, 194(4829),699-700.
- Beysens, D., Milimouk I. & Schweitzer A. (2000). The case for alternative fresh water sources. *Environmental Science*, 11(4).
- Bhushan, B. (2018). *Biyomimetics: bioinspired hierarchical-structured surfaces for green science and technology*. 3rd edn. Cham, Switzerland: Springer International.
- Bhushan, B. (2020). Design of water harvesting towers and projections for water collection from fog and condensation. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 378, 2167.
- Brown, P.S. & Bhushan, B. (2016). Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 374, 2073.
- Bruintjes, R.T. (1999). A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 805-820.
- Bui, D.T., Chua, K. J. & Gordon, J.M. (2017). Comment on “Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight”. *Science*, 358, 6367.

- Cardwell, M. D. (2006). Rain harvesting in a wild population of *Crotalus s. scutulatus* (Serpentes:Viperidae). *Herpetol. Rev.*, 37, 142–144.
- Çapar, G. (2019). *Su Kaynakları Yönetimi ve İklim Değişikliği*. İklim Değişikliği alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (iklimİN), İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 8, Ankara.
- DeFelice, T. P. & Axisa, D. (2017). Modern and prospective technologies for weather modification activities: developing a framework for integrating autonomous unmanned aircraft systems. *Atmos. Res.*, 193, 173-183.
- Dai, X., Sun N., Nielsen, S.O., Stogin, B.B., Wang, J., Yang, S., & Wong, T.S. (2018). Hydrophilic directional slippery rough surfaces for water harvesting. *Science Advances*, 4(3).
- DSİ, (2022). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. Erişim: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>.
- Edmonds, D.T., & Vollrath, F. (1992). The contribution of atmospheric water vapour to the formation and efficiency of a spider's capture web. *Biological Science*, 248,1322, 145-148.
- Ghaffour, N., Missimer, T.M. & Amy, G.L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.
- Gido, B., Friedler, E. & Broday, D. M. (2016). Assessment of atmospheric moisture harvesting by direct cooling. *Atmospheric Research*, 182, 156–162.
- Gindel, I. (1965). Irrigation of plants with atmospheric water within the desert. *Nature*, 207, 1173.
- Gioda, A., Acosta Baladtn, A., Fontanel, P., Hernfindez Martin, Z. ve Santos, A. (1992). L'arbre fontaine. *La Recherche*, 23, 1400-1408.
- Gorb, S.N., & Gorb, E.V. (2017). *Functional surfaces in biology III- diversity of the physical phenomena*. Cham, Switzerland: Springer International.
- Guadarrama-Cetina, J., Mongruel, A., Medici, M. G., Baquero, E., Parker, A. R., Milimouk, Melnytchuk, I., González-Viñas, W., & Beysens, D. (2014). Dew Condensation on Desert Beetle Skin. *The European Physical Journal E*, 37(11), 109.
- Hamilton, W.J. & Seely, M.K. (1976). Fog basking by the Namib desert beetle, *Onymacris unguicularis*. *Nature*, 262, 284-285.
- Hitier, H. (1925). Condensateurs des Vapenrs Atmosphriques dans l'Antiquitt. *Comptes-Rendus Acadtmie d'Agriculture*, Paris, pp. 679-683.
- J. Ju, H. Bai, Y. Zheng, T. Zhao, R. Fang & L. Jiang, (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3, 1247.
- Jumikis, A.R., (1965). Aerial wells: secondary sources of water. *Soil Science*, 100, 83-95.
- Kabeel, A.E., Abdulaziz, M. & El-Said, E.M.S. (2014). Solar-based atmospheric water generator utilisation of a fresh water recovery: A numerical study. *Journal of Ambient Energy*, 37(1),68-75.
- Kalmutzki, M.J., Diercks, C.S. & Yaghi, O.M. (2018). Metal-Organic Frameworks for Water Harvesting from Air. *Adv. Mater.*, 30(37), 1704304.
- Khalil, B., Adamowski, J., Shabbir, A., Jang, C., Rojas, M., Reilly, K. & Ozga-Zielinski, B. (2016). A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors Sustain, *Water Resour. Manag.*, 2, 71-86.
- Kim, H., Yang, S., Rao S.R., Narayanan S., Kapustin E.A., Furukawa H., Umans A.S., Yaghi O.M. & Wang E.N. (2017). Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. *Science*, 356, 430–432.

- Kim, H., Rao S.R., Kapustin, E.A., Zhao, L., Yang, S., Yaghi, O.M. & Wang, E.N. (2018). Adsorption-based atmospheric water harvesting device for arid climates. *Nature Communications*, 9, 1191.
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Heerden, J.O., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Ossour, P., Frost, E.J., Estrela, M.J., Valiente, J.A. & Fessehayé, G.M. (2012). Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives. *Ambio*, 41(3), 221-234.
- Koch, K., Bhushan, B., & Barthlott, W. (2008). Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. *Soft matter*, 4, 1943–1963.
- Kotzen, B. (2014). Novel ideas for maximising dew collection to aid plant establishment to combat desertification and restore degraded dry and arid lands. In EGU General Assembly Conference. Vienna, Austria.
- Lawrance, P., Meigh, J., & Sullivan, C. (2002). *The Water Poverty Index: an International Comparison*. Keele Economic Research Papers, Keele University.
- Li, R., Şi, Y., Alsaedi, M., Wu, M., Shi, L., & Wang, P. (2018). Hybrid Hydrogel with High Water Vapor Harvesting Capacity for Deployable Solar-Driven Atmospheric Water Generator. *Environ. Sci. Technol.*, 52(19), 11367-11377.
- Louw, G.N., Seely, M.K. (1980). Exploitation of fog water by a perennial Namib dune grass, *Stipagrotis sabulicola*. *S.Afr. J. Sci.*, 76, 38–39.
- Malik, F.T., Clement, R.M., Gethin, D.T., Krawszik, W. & Parker, A.R. (2014). Nature's moisture harvesters: a comparative review. *Bioinspir. Biomim.*, 9(3), 031002.
- Mendoza-Escamilla, J.A., Hernandez-Rangel, F.J., Cruz-Alcantar, P., Saavedra-Leos, M.Z., Morales-Morales, J., Figuera-Diaz, R.A., Valencia-Castillo, C.M., & Martinez-Lopez, F.J. (2019). A Feasibility Study on the Use of an Atmospheric Water Generator (AWG) for the Harvesting of Fresh Water in a Semi-Arid Region Affected by Mining Pollution. *Appl. Sci.* 9(16), 3278.
- Mooney, H.A., Weisser, P.J., & Gulmon, S.L. (1977). Environmental adaptations of Atacaman Desert Cactus *Copiapoa haseltoniana*. *Flora*, 166(2), 117–124.
- Monteith, J.L. (1957). Dew. *Q. J. Royal Meteorol. Soc.*, 83(357), 322-341.
- Muñoz-García, M.A., Moreda, G.P., Raga-Arroyo, M.P., & Marín-González, O. (2013). Water harvesting for young trees using Peltier modules powered by photovoltaic solar energy. *Comput. Electron. Agr.*, 93, 60-67.
- Mutlu Avinç, G., & Arslan S. (2019). Mimari Tasarımda Biyomimetik Yaklaşımlar: Pavyonlar Üzerine Bir Araştırma. *Online Journal of Art and Design*, 7(2).
- Nebbia, G. (1961). The problem of obtaining water from the air. In Proceedings of the Conference on Solar and Aeolian Energy.
- Nikolayev, V.S., Beysens, D., Gioda, A., Milimouka, I., Katiushin, E. & Morel, J.P. (1996). Water recovery from dew. *J. Hydrol.*, 182(1-4), 19–35.
- Pan, Z., Pitt, W.G., Zhang, Y., Wu, N., Tao, Y., & Truscott, T.T. (2016). The upside-down water collection system of *Syntrichia caninervis*. *Nat. Plants*, 2, 16076.
- Pohl, G. & Nachtigall, W. (2015). *Biomimetics for Architecture & Design*. Nature Analogies-Technology: Springer.

- Pokorny, N., Shemelin, V., & Novotny, J. (2022). Experimental study and performance analysis of a mobile autonomous atmospheric water generator designed for arid climatic conditions. *Energy*, 250, 123813.
- Roth-Nebelsick, A., Ebner, M., Miranda, T., Gottschalk, V., Voigt, D., Gorb, S., Stegmaier, T., Sarsour, J., Linke, M. & Konkrad, W. (2012). Leaf surface structures enable the endemic Namib Desert grass *Stipagrostis sabulicola* to irrigate itself with fog water. *J. Soc. Interface*, 9(73), 1965–1974.
- Schemenauer, R.S., & Cereceda, P. (1991). Fog water collection in arid coastal locations. *Ambio*, 20,303–308.
- Schemenauer, R.S., & Cereceda, P. (1992a). The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 275–290.
- Schemenauer, R.S., & Cereceda, P. (1992b). Monsoon cloud water chemistry on the Arabian Peninsula. *Atmospheric Environment*, 26A, 1583–1587.
- Schemenauer, R.S., Cereceda, P. & Osses P. (2003). The complementary aspects of projects to collect rain, fog and dew. In XIth IRCSA Conference.
- Shalamzari, M. J., & Zhang, W. (2018). Assessing water scarcity using the water poverty index (wpi) in Golestan province of Iran. *Water*, 10(8).
- Sharan, G. (2008). Harvesting dew water using radiative-cooled condenser to supplement drinking water supply in hot arid coastal area of north-west India. In International Conference on Agricultural Engineering. Hersonissos, Greece
- Sharan, G., Roy, A.K., Royon, L., Mongruel, A., & Beysens, D. (2017). Dew plant for bottling water. *Journal of Cleaner Production*., 155, 83-92.
- Shiklomanov, I.A. (1993). *World fresh water resources. In Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources.* pp. 13. New York, NY: Oxford University Press.
- Shiklomanov, I.A. (1998). *Monograph World Water Resources.* UNESCO.
- Stone, E.C. (1957). Dew as an ecological factor: I. a review of the literature. *Ecology*, 38(3),407-413.
- Tripathi, A., Tushar, S., Pal, S., Lodh, S., Tiwari, S., & Desai, P.R.S. (2016). Atmospheric Water Generator. *International Journal of Enhanced Research in Science, Technology and Engineering*, 5(4), ISSN: 2319-74635.
- Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y. & Wang, J. (2018). Progress and Expectation of Atmospheric Water Harvesting. *Joule*, 2, 1452-1475.
- Türkeş, M. (2008). *REC Türkiye Öncülerin Eğitimi Ders Notları*, TÜİK (2016). İşgücü İstatistikleri.
- Wahlgren, R.V. (2001). Atmospheric water vapour processor designs for potable water production: a review, *Water Res.*, 35(1),1–22.
- Wang, X., Li X., Liu, G., Li, J., Hu, X., Xu, N., Zhao, W., Zhu, B., & Zhu, J. (2019). An Interfacial Solar Heating Assisted Liquid Sorbent Atmospheric Water Generator. *Angewandte Chemie*, 131(35), 12182-12186.
- WWDR, U. (2020). The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change In: UNESCO.
- Yu, Z., Zhu, T., Zhang, J., Ge, M., Fu, S., & Lai, Y. (2022). Fog Harvesting Devices Inspired from Single to Multiple Creatures: Current Progress and Future Perspective. *Advanced Functional Materials*, 32(26), 2200359.

- Zari, M.P. (2009). An architectural Love of the Living: Bio-Inspired Design in The Pursuit of Ecological Regeneration and Psychological Wellbeing. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 120, 293-302.
- Ziboid, F.I. (1905). The role of underground dew in water supply of Feodosia. *Trudy opytnykh lesnitchestv*, No. III (in Russian, manuscript kept in the Feodosian Museum). French Translation: Rapport CEASaclay, 1995, DIST, No. 95002495.